



# SENIATI 2017

BUKU 1

## PROSIDING

ISSN 2085-4218

Inovasi dan Implementasi Green Technology  
Menuju Kemandirian Energi  
Vol 3 No 1



SEMINAR NASIONAL INOVASI DAN APLIKASI TEKNOLOGI  
DI INDUSTRI 2017

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
4 FEBRUARI, 2017



# **PROSIDING**

## **SEMINAR NASIONAL INOVASI DAN APLIKASI TEKNOLOGI DI INDUSTRI**

**MALANG, 4 FEBRUARI 2017**

### **BUKU 1**

**Diselenggarakan Oleh**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
MALANG  
2017**

## ***Kata Pengantar***

### ***Ketua Panitia Pelaksana SENIATI 2017***

*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.  
Salam sejahtera bagi kita semua.*

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena atas hidayah-NYA maka Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi Di Industri (SENIATI) 2017 dapat terselenggara. SENIATI merupakan kegiatan yang diselenggarakan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang secara rutin setiap tahun. Pada tahun 2017 ini, SENIATI dilaksanakan tanggal 4 Februari 2017 dengan mengusung tema *Inovasi dan Implementasi Green Technology Menuju Kemandirian Energi*. Pelaksanaan seminar ini merupakan wadah publikasi para peneliti baik dilingkungan institusi pendidikan maupun badan penelitian sehingga dapat saling bertukar informasi dan pengalaman penelitian. Hal ini yang menjadi dasar terselenggaranya seminar nasional SENIATI

Pada seminar kali ini, peserta berasal dari kalangan peneliti dari berbagai macam disiplin ilmu hadir membawakan makalah. Diharapkan transfer teknologi dapat menambah wawasan dan khasanah penelitian dalam pemanfaatan sumber alam di Indonesia berbasis *Green Technology*.

Terima kasih kami sampaikan kepada seluruh pihak yang telah berpartisipasi aktif dalam seminar ini, pendukung dana, narasumber, pemakalah, peserta seminar dan panitia pelaksana sehingga acara SENIATI 2017 terselenggara dengan baik.

Kami menyadari bahwa dalam penyelenggaraan seminar ini masih terdapat banyak kekurangan. Kami memohon maaf yang sebesar-besarnya dan berharap pelaksanaan seminar selanjutnya berjalan lebih baik lagi. Untuk itu, kami sangat mengharap umpan balik berupa saran dan kritik dari semua yang hadir.

Akhir kata, kami sampaikan terima atas kehadiran dan partisipasinya. Sebagai penutup kami mengucapkan selamat mengikuti Seminar Nasional SENIATI 2017 kepada seluruh peserta.

*Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Malang, Februari 2017  
Ketua Panitia Pelaksana

Dr. Nanik Astuti Rahman, ST. MT.

***SAMBUTAN DEKAN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG***

Peserta Seminar Nasional SENIATI 2017 yang kami hormati,  
Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh,  
Salam sejahtera untuk kita semua,

Puji syukur kita haturkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, karena berkat rahmat dan karuniaNya, Seminar Nasional SENIATI 2017 dengan Tema “ Inovasi dan Implementasi Green Technology menuju kemandirian Energi”, dapat diselenggarakan.

Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri (SENIATI) merupakan kegiatan rutin dari Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang, yang diselenggarakan setiap tahun. Seminar Nasional ini diharapkan dapat digunakan sebagai sarana para akademisi, praktisi, masyarakat pemerhati di bidang teknologi industri, pemerintah dan industri dalam menyampaikan hasil-hasil penelitian dan pengabdian masyarakat di bidang teknologi industri.

Atas nama civitas akademika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang, saya menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berkontribusi atas terselenggaranya seminar nasional SENIATI 2017 ini. Seminar ini dapat berlangsung karena usaha terbaik dari seluruh panitia pelaksana.

Terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Dr. Ocky Karna Radjasa, M.Sc selaku Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat KEMENRISTEK DIKTI dan Prof. Ir. Rinaldy Dalimi, M.Sc,Phd selaku anggota Dewan Energi Nasional yang berkenan hadir sebagai keynote speaker pada seminar ini.

Akhir kata selamat berseminar semoga seminar ini bermanfaat bagi kita semua untuk berkarya dan berinovasi menuju kemandirian energi.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh.

Malang, 4 Februari 2017  
Dekan,

Dr. F. Yudi Limpraptono, ST.MT.

## ***Susunan Panitia***

|                      |   |
|----------------------|---|
| Pelindung            | : H. Siswo Atmowidjojo  |
| Penanggung Jawab     | : <ol style="list-style-type: none"><li>1. Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MTA</li><li>2. Dr. Ir. Kustamar, MT</li><li>3. Dr. Ir. Julianus Hutabarat, MSIE</li><li>4. Ir. Eng. Ir. I Made Wartana, MT</li></ol>   |
| Pengarah             | : <ol style="list-style-type: none"><li>1. Ir. Anang Subardi, MT</li><li>2. Ir. Harimbi Setyawati, MT</li><li>3. Ir.ST.Salammia.L.A, MT</li><li>4. Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT</li></ol>   |
| Ketua Pelaksana      | : Dr. Nanik A.Rahman, ST.,MT  |
| Wakil Ketua          | : Suryo Adi Wibowo, ST.,MT  |
| Sekretaris           | : Febriana Santi Wahyuni, S.Kom.,M.Kom  |
| Bendahara            | : <ol style="list-style-type: none"><li>1. Dra. Sri Indriani MM</li><li>2. Emmalia Adriantanri, ST.,MM</li></ol>  |
| Sie. Kesekretariatan |   |
| Koordinator          | : Sanny Andjar Sari, ST., MT <ol style="list-style-type: none"><li>1. Hani Zulfia Zahro, S.Kom.,M.Kom</li><li>2. Masrurotul Ajiza, S.Pd., M.Pd.</li><li>3. Rofila El Maghfiroh, S.Si.,MT</li><li>4. Mira Orisa, ST.,MT</li><li>5. Gerald Adityo, ST.,M.Eng</li><li>6. Bima Aulia Firmandani, ST.,MT</li><li>7. Titik Rembati, SE</li><li>8. Arif Subasir, A.Md</li><li>9. Rudi Hartono</li><li>10. Suparno</li><li>11. Yajid Abdullah</li></ol> |
| Reviewer             |   |
| Koordinator          | : Prof. Dr. Eng. Ir.Abraham Lomi, MSEE <ol style="list-style-type: none"><li>1. Prof. Dr. Ir. Tri Poespowati, MT</li><li>2. Prof. Dr. Sutriyono, M.Pd</li><li>3. Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST., MT</li><li>4. Dr. Irrine Budi S, ST.,MT</li><li>5. Dr. Ir. Dayal Gustopo, MT</li><li>6. Dr. Prima Vitasari, SIP., MPd</li><li>7. Dra. Siswi Astuti, M.Pd</li><li>8. Ali Mahmudi B. Eng. Ph.D</li><li>9. Ir. Soeparno Djiwo, MT</li></ol>      |

10. Joseph Dedi Irawan, ST., MT

Sie. Publikasi, Dekorasi dan Dokumentasi

Koordinator : Bambang Prio Hartono, ST., MT

1. Ahmad Faisol, ST, MT
2. Faidliyah Nilna Milna, ST., MT
3. Elizabeth Catur Yulia, SH
4. M. Yanuar Fachrudin

Sie. Protokoler

Coordinator : Ir. Teguh Rahardjo, MT

1. Ir. Choirul Saleh, MT
2. Ir. Thomas Priyasmanu, MT

Sie. Sponsorship

Koordinator : M. Istnaeny Hudha, ST., MT

1. Yosep Agus Pranoto, ST., MT
2. Lauhil Machfudz Hayusman, ST., MT
3. Asroful Anam, ST., MT
4. Sony Hariyanto, S.Sos., MT

Sie. Acara

: 1. Ir. Taufik Hidayat, MT

2. Rini Kartika Dewi, ST., MT

Sie. Perlengkapan

Koordinator : Ir. Basuki Widodo, MT

1. Febi Rahmadiano, ST., MT
2. Edi Danardono
3. Diglam
4. Sarmidi
5. M. Sholeh

Sie. Konsumsi

Koordinator : Dwi Ana Anggorowati, ST., MT

1. Nuning Irawati, A.Md
2. Iis Sumarni, A.Md
3. Mei Nurhayati, AMd
4. Nurlaila Antonius, A.Md
5. Nunuk Yuli
6. Puji Handayani

Sie. Transportasi

Koordinator : M. Daim

1. Imam Supardi
2. Budi Hariadi
3. Dedi Kristiono

## ***Daftar Isi***

|   |     |
|---|-----|
| Halaman Judul   | i   |
| Kata Pengantar Ketua Panitia Pelaksana  | ii  |
| Sambutan Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang | iii |
| Susunan Panitia   | iv  |
| Daftar Isi  | vi  |
| Buku 1  | vii |

## **DAFTAR ISI**

### **BUKU 1**

#### **OPTIMASI KINERJA PERSONAL COMPUTER WORKSTATION BERBASIS LINUX TERMINAL SERVER PROJECT (LTSP)**

*Ade Hendri Hendrawan, Yuggo Afrianto, Ibnu Kuswanto, Arief Goeritno*

*A1.1-7*

#### **PENGKONDISIAN SUHU RUANGAN BERBANTUAN SENSOR LM35 DAN PASSIVE INFRARED (PIR) BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNO R3**

*Andik Eko Kristus Pramuko, Siti Asyura, Arief Goeritno, Ritzkal*

*A2.1-9*

#### **PEMODELAN DAN PENGIMPLEMENTASIAN PERMAINAN CONNECT FOUR**

*Andrew Mahisa Halim, Frederikus Judianto, Samuel Lukas, Petrus Widjaja*

*A3.1-6*

#### **ANALISIS SISTEM KEAMANAN SUMBERDAYA MANUSIA DENGAN PENERAPAN ISO 27001 KLAUSAL 9 DI UNIVERSITAS IBN KHALDUN BOGOR**

*Andri Rinaldi, Ritzkal, Bayu Adhi Prakosa, Arief Goeritno*

*A4.1-6*

#### **ANALISIS PENGGUNAAN TEKNIK MORPH DAN BONE UNTUK ANIMASI EKSPRESI WAJAH DALAM INDUSTRY FILM KARTUN 3D**

*Anggit Dwi Suprpto*

*A5.1-4*

#### **IMPLEMENTASI PERALATAN BERBASIS ANDROID BERBANTUAN BLUETOOTH UNTUK TAMPILAN PANTAUAN SEJUMLAH PARAMETER FISIS PADA ANALOGI SMART GREEN HOUSE**

*Bayu Adhi Prakosa, Arief Goeritno, Bayu Arief Prakoso*

*A6.1-6*

#### **IMPLEMENTASI SISTEM ONE-TIME PASSWORD (OTP) SEBAGAI KEY PENGGERAK KUNCI PINTU BERBANTUAN ARDUINO UNO**

*Christian Hadi Wijaya, Ade Hendri Hendrawan, Andik Eko K.P., Arief Goeritno*

*A7.1-7*

#### **PENDETEKSIAN TALI PUSAT PADA JANIN DENGAN METODE CONTOUR TRACING**

*David Habsara Hareva, Steven Juliono, Dion Krisnadi*

*A8.1-5*

#### **PENGEMBANGAN APLIKASI PEDOMETER BERBASIS ANDROID DENGAN MENGUNAKAN SENSOR MOTION UNTUK SARAN KESEHATAN**

*Denny Hermawan, Fauziyyah Faturahmah, Willy Dharmawan*

*A9.1-9*

#### **PENCARIAN LOKASI JALUR NUGRAHA EKAKURIR (JNE) TERDEKAT MENGUNAKAN HAVERSINE FORMULA (STUDI KASUS KOTA SAMARINDA)**

*Dyna Marisa Khairina, Febrian Wicaksana Ramadhinata, Heliza Rahmania Hatta*

*A10.1-5*

#### **RANCANG BANGUN SISTEM INFORMASI PENGOLAHAN DATA NILAI SISWA PADA SMPN 25 PALEMBANG**



*Evi Yulianingsih*

*A11.1-5*

**IMPLEMENTASI TEKNOLOGI AUGMENTED REALITY  
UNTUK PENINGKATAN PEMAHAMAN RAMBU-RAMBU LALU LINTAS**

*Febri Noviyana, Tubagus Mohammad Akhriza, Eni Farida*

*A12.1-6*

**PERANCANGAN SISTEM INFORMASI MATERIAL PRODUK KEMASAN  
MENGUNAKAN METODE FIFO PADA PT. CRS**

*Hedy Prasetyo, Awalludiyah Ambarwati*

*A13.1-6*

**PEMILIHAN LAHAN TERBAIK UNTUK TANAMAN KELAPA SAWIT  
MENGUNAKAN METODE SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING**

*Heliza Rahmania Hatta, Norwanda Widya Pratama, Dyna Marisa Khairina,  
Septya Maharani*

*A14.1-5*

**Pengenalan Wajah Berbasis Ekstraksi Linear Prediction Coefficient  
(LPC) dari Discrete Cosine Transforms (DCT) Menggunakan Neural  
Network**

*Heru Arwoko*

*A15.1-4*

**KLASIFIKASI ARTIKEL BERITA MENGGUNAKAN METODE TEXT MINING DAN  
NAIVE BAYES CLASSIFIER**

*Ira Anggraeni Setiawan, Tacbir Hendro P, Dian Nursantika*

*A16.1-6*

**RANCANGAN SISTEM INFORMASI PENJUALAN BARANG BERBASIS WEB  
DENGAN METODOLOGI BERORIENTASI OBJEK  
STUDI KASUS : PT. SUMBERSOLUSINDO HITECH**

*Lis Suryadi*

*A17.1-7*

**SISTEM INFORMASI KEARSIPAN DATA MAHASISWA DENGAN BAHASA  
PEMROGRAMAN MICROSOFT VISUAL BASIC VERSI 6.0**

*Minarni Adham, Erry Yadi*

*A18. 1-6*

**SISTEM INFORMASI PENGOLAHAN SAMPAH DI PONDOK PESANTREN NURUL  
JADID**

*Mochammad Faid, Moh Jasri*

*A19. 1-6*

**RANCANG BANGUN APLIKASI MEDIA PEMBELAJARAN  
SHOLAT FARDHU BERBASIS FLASH**

*Moh Jasri, Mochammad Faid*

*A20. 1-5*

**OPTIMALISASI PENJADWALAN BABAK PENYISIHAN PERTANDINGAN SEPAK BOLA  
LIGA MAHASISWA JAWA BARAT MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA**

*Nurul Faturakhman S, Esmeralda C. Djama, Agus Komarudin*

*A21. 1-6*

|  |                 |
|--|-----------------|
| <b>RANCANG BANGUN SISTEM INFORMASI PENJUALAN<br/>STUDI KASUS TOKO MUTIARA SERAGAM</b><br><i>Nurwati, Yudi Santoso</i>  | <i>A22. 1-6</i> |
| <b>PERANCANGAN SISTEM INFORMASI KEPEGAWAIAN (STUDI KASUS DINAS<br/>PENDIDIKAN DISTRICT BOBONARO DI TIMOR LESTE)</b><br><i>Orlanda Dos Reis Barros , Awalludiyah Ambarwati</i>  | <i>A23. 1-6</i> |
| <b>PENGEMBANGAN APLIKASI GUI MULTIGUNA BERBASIS ANDROID<br/>UNTUK DISPLAI DATA JARINGAN LOKAL DAN INTERNET</b><br><i>Pratikto, Raydha Zul Fitriani</i>   | <i>A24. 1-6</i> |
| <b>OPTIMISASI PUSTAKA UNTUK PERKALIAN MATRIKS<br/>MENGUNAKAN ALGORITMA STRASSEN BERBASIS OPENCL</b><br><i>Arvin, Sutrisno, Pujiyanto Yugopuspito</i>   | <i>A25. 1-6</i> |
| <b>APLIKASI PENGENALAN KAMPUS DENGAN PERANGKAT ANDROID<br/>BERBASIS AUGMENTED REALITY CASE: LABORATORIUM FST UAI</b><br><i>Heri Wibowo, Marcelly Widya W, Eka Septiana</i>   | <i>A26. 1-7</i> |
| <b>MOTIVASI PENGGUNAAN FACEBOOK DI KALANGAN MAHASISWA</b><br><i>R. Kristoforus Jawa Bendi</i>  | <i>A27. 1-6</i> |
| <b>PENGGUNAAN FUNGSI HEURISTIK SEDERHANA PADA PERMAINAN TIC-TAC-TOE</b><br><i>R. Kristoforus Jawa Bendi</i>  | <i>A28. 1-6</i> |
| <b>IMPLEMENTASI PENGAMANAN DATA ENKRIPSI SMS DENGAN ALGORITMA RC4<br/>BERBASIS ANDROID</b><br><i>Sapto Subhan, Safrina Amini ,Pipin Farida Ariyani</i>   | <i>A29. 1-6</i> |
| <b>REKAYASA FASILITAS UJI POLA RADIASI ANTENA PENGARAH DENGAN SISTEM<br/>KOMPUTERISASI BERBASIS ATMEGA-8</b><br><i>Sidik Noertjahjono , Sotyohadi</i>  | <i>A30. 1-7</i> |
| <b>PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN MACROMEDIA FLASH 6.0 BERBASIS<br/>ANDROID PADA MATERI RANGKAIAN RLC PADA MAHASISWA PROGRAM STUDI<br/>PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO</b><br><i>Sulistyaning Kartikawati , Ihtiari Prasetyaningrum</i> | <i>A31. 1-7</i> |
| <b>AUTOMATIC CAKE BREAKER CONVEYOR (CBC) BERBASIS SCADA<br/>PADA STASIUN KEMPA PABRIK KELAPA SAWIT</b><br><i>Sunanto , Wahyu Joni Kurniawan</i>  | <i>A32. 1-7</i> |

**APLIKASI WEB UNTUK ANALISIS SENTIMEN PADA OPINI PRODUK  
DENGAN METODE NAIVE BAYES CLASSIFIER**

*Surya Hanggara, Tb Mohammad Akhriza, Mochammad Husni*

*A33. 1-6*

**MODIFIKASI METODE CAMSHIFT UNTUK PENGENALAN CITRA WAJAH SECARA  
REAL TIME BERDASARKAN WARNA KULIT WAJAH**

*Sultoni*

*A34. 1-7*

**DESAIN PROGRAM SISTEM INFORMASI PENGADUAN MASYARAKAT PADA  
KECAMATAN KADEMANGAN TERINTEGRASI SMS GATEWAY**

*Wali Ja'far Shudiq*

*A35. 1-6*

**REMOTE IPTABLES DAN *INTRUSION DETECTION SYSTEM* (IDS) DENGAN SNORT  
BERBANTUAN SMS GATEWAY PADA JARINGAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS  
IBN KHALDUN BOGOR**

*Windi Apriana, Bayu Adhi Prakosa, Ade Hendri Hendrawan, Arief Goeritno*

*A36. 1-7*

**RANCANG BANGUN SISTEM INFORMASI PENGADAAN BARANG  
PADA PT. KRAKATAU INDUSTRIAL ESTATE CILEGON**

*Yohannes Yahya Welim, Suci Angga Nugraha*

*A37. 1-7*

**RANCANGAN SISTEM INFORMASI ADMINISTRASI RISET  
PADA DIREKTORAT RISET DAN PPM**

*Yudi Santoso, Goenawan Brotosaputro*

*A38. 1-6*

**PENYELESAIAN MASALAH POHON RENTANG MINIMUM DENGAN ALGORITME  
GENETIKA YANG DISEDERHANAKAN SUATU ADOPSI OPERATOR DARI SISTEM  
KEKEBALAN BUATAN**

*Zainudin Zukhri*

*A39. 1-8*

**APLIKASI *COMMUNITY DEVELOPMENT ANALYSIS* (CDA) DAN NETWORKING DALAM  
MEMBANGUN MANAJEMEN PESANTREN BER-COMPETITIVE ADVANTAGE**

*Muhyiddin Z. A.*

*A40. 1-9*

**PENGENALAN INDIVIDU BERDASARKAN POLA RUGAE PALATINA MENGGUNAKAN  
*HISTOGRAM OF ORIENTED GRADIENTS* DAN *MULTI LAYER PERCEPTRON***

*Abdian Nila Rezka , Bambang Hidayat , Achmad Syawqie*

*B1. 1-6*

**PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP PLANAR MONOPOLE DENGAN PENCATUAN  
COPLANAR WAVEGUIDE UNTUK ANTENA ESM**

*Adhie Surya Ruswanditya , Heroe Wijanto , Yuyu Wahyu*

*B2. 1-6*

**PENGEMBANGAN MODEL AWAL SISTEM EVALUASI PENERIMAAN PENGGUNA  
E-LEARNING JANABADRA**

*Aditya Sylvandinata Saputra , Sri Suning Kusumawardani , Eko Nugroho* *B3. 1-6*

**ANALISIS DIGITAL AUDIO WATERMARKING BERBASIS LIFTING WAVELET TRANSFORM PADA DOMAIN FREKUENSI DENGAN METODE SPREAD SPECTRUM**  
*Agung Satrio Wibowo, Agung Suryahadiningrat Kusumanegara, Gelar Budiman* *B4.1-6*

**ANALISIS KEAMANAN PESAN MENGGUNAKAN TEKNIK STEGANOGRAFI MODIFIED ENHANCED LSB DAN FOUR NEIGHBORS DENGAN TEKNIK KRIPTOGRAFI CHAINING HILL CIPHER**  
*Rosalendro Eddy Nugroho* *B5. 1-7*

**PENGEMBANGAN SISTEM LAMPU KENDARAAN OTOMATIS MENGGUNAKAN SENSOR CAHAYA**  
*Alfa Satya Putra* *B6. 1-6*

**PENGENDALIAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN METODE SVPWM TWO LEVEL PENGARUH EFISIENSI MOTOR INDUKSI DENGAN PENERAPAN INNER DAN OUTER CIRCLE PADA SVPWM TWO LEVEL INVERTER**  
*Andhika Giyantara Mochammad Rameli* *B7. 1-4*

**ANALISIS OPTIMASI COVERAGE JARINGAN LONG TERM EVOLUTION (LTE) TDD PADA FREKUENSI 2300 MHZ DI WILAYAH DKI JAKARTA**  
*Andi Chaerunisa Utami Putri, Uke Kurniawan Usman , Sigit Puspito Wigati Jarot* *B8. 1-7*

**DESAIN KONTROL PATH FOLLOWING QUADCOPTER DENGAN ALGORITMA LINE OF SIGHT**  
*Anggara Trisna Nugraha* *B9. 1-8*

**ROBOT PENGURAI ASAP DALAM RUANGAN MENGGUNAKAN T-BOX DENGAN METODE BEHAVIOUR BASED CONTROL**  
*Anggara Trisna Nugraha, Ichal Haichal S* *B10. 1-6*

**SIMULASI DAN ANALISIS PENGARUH AGREGASI OLT PADA PERFORMANSI JARINGAN NG-PON2**  
*Ardella Stephanie Putri, Akhmad Hambali, Afief Dias Pambudi* *B11. 1-7*

**PENERAPAN KONSEPSI SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM (SIS) UNTUK UPGRADING SISTEM INSTRUMENTASI DAN KONTROL PADA FASILITAS PEMURNIAN UAP GEOTHERMAL POWER PLANT**  
*Arief Goeritno, Dian Anwar, Dudi Nurmansyah* *B12. 1-7*

**SIMULASI TERHADAP SISTEM INSTRUMENTASI DAN KONTROL BERBASIS SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM (SIS) YANG TELAH DI-UPGRADE PADA FASILITAS PEMURNIAN UAP GEOTHERMAL POWER PLANT**

*Arief Goeritno, Yuggo Aprianto, Dudi Nurmansyah, Muhidin, Dian Anwar*

*B13. 1-7*

**SIMULASI PENERAPAN KONSEPSI MANAJEMEN PERLEPASAN BEBAN PADA SISTEM TENAGA LISTRIK BERBANTUAN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) DAN BERBASIS ELECTRICAL TRANSIENT ANALYZER PROGRAM (ETAP)**

*Arief Goeritno, Tangtang Syamsudin*

*B14.1-16*

**PROTOTIPE SISTEM PENGUNCIAN LOKER ELEKTRONIK DENGAN TEKNOLOGI IDENTIFIKASI-FREKUENSI RADIO**

*William Linardi , Arnold Aribowo, Pujiyanto Yugopuspito*

*B15. 1-5*

**MONITORING DAN PENGATURAN PERALATAN LISTRIK PADA BANGUNAN BERKACA DENGAN KONSEP WIRELESS SENSOR NETWORK**

*Aswadul Fitri Saiful Rahman , Mayda Waruni Kasrani*

*B16. 1-6*

**PERANCANGAN DAN ANALISIS AUDIO WATERMARKING BERBASIS TEKNIK MODULASI DIGITAL DENGAN PENGKODEAN KONVOLUSI**

*Augiska Muliansyahputra, Briliant Hadi Akbar , Gelar Budiman*

*B17. 1-7*

**OPTIMASI AUDIO WATERMARKING BERBASIS DISCRETE COSINE TRANSFORM DENGAN TEKNIK SINGULAR VALUE DECOMPOSITON MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA**

*Beatrix Sitompul, Fadliana Raekania, Gelar Budiman*

*B18. 1-7*

**ANALISA ALGORITMA PENGHITUNG KENDARAAN RODA EMPAT DALAM KONDISI SIANG DAN MALAM HARI DENGAN METODE FRAME INTERSECTION**

*Brilliant Bagus Pakerti Utama, Ratri Dwi Atmaja, Azizah,*

*B19. 1-7*

**PERANCANGAN BUTLER MATRIKS 4X4 UNTUK PENGARAHAN BERKAS ANTENA PADA STASIUN BUMI**

*Christian Mahardhika, Bambang Setia Nugroho, Budi Syihabuddin*

*B20. 1-8*

**STUDI KASUS : PENANGANAN NOT GOOD PART BUMPER SETELAH PROSES PENGECATAN DI PT AUTO PLASTIK INDONESIA**

*Dessy Agustina Sari , Muh Fahmi Asagaf*

*B21. 1-5*

**PERANCANGAN WATERMARKING AUDIO BERBASIS OFDM MENGGUNAKAN METODE QUANTIZATION INDEX MODULATION (QIM) DAN BCH CODE**

*Dhimas Ariqstyan Bhagaskara , Gelar Budiman, Irma Safitri*

*B22. 1-6*

**MENGINTEGRASIKAN REPEATER RADIO VHF KAMPUS-1 DAN KAMPUS-2 ITN MALANG MELALUI LINK RADIO UHF**

*Eko Nurcahyo, Sidik Noertjahjono , Bambang Prio Hartono*

*B23. 1-6*

**PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENNA CONTROL UNIT BERUPA PHASE SHIFTER DIGITAL UNTUK ANTENA PHASED ARRAY 4X4 PADA FREKUENSI S-BAND UNTUK RADAR 3D**

*Fahmi Lismar Halim, Bambang Setia Nugroho, Yuyu Wahyu*

*B24. 1-6*

**SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PEMILIHAN VARIETAS KELAPA SAWIT DENGAN METODE FUZZY C-MEANS**

*Faizal Widya Nugraha, Silmi Fauziati, Adhistya Erna Permanasari*

*B25. 1-8*

**ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN WI-FI BERBASIS 802.11N DENGAN BALON UDARA DI KOTA BANDUNG**

*Falih Adan Ma'arif, Uke Kurniawan Usman, Hurianti Vidyaningtyas*

*B26. 1-8*

**MODEL E-READINESS UNTUK PENGUKURAN KESIAPAN PEMERINTAH DAERAH DALAM PENERAPAN SMART GOVERNMENT STUDI KASUS PEMERINTAH PROVINSI GORONTALO**

*Firto Nento, Lukito Edi Nugroho, Selo*

*B27.1-6*

**ANALISIS SEQUENTIAL SEARCHING APLIKASI KESEHATAN BALITA DAN IBU HAMIL SERTA PENCARIAN PUSKESMAS BERBASIS ANDROID**

*Fitriah Halimah, Rita Purnamasari, Inung Wijayanto*

*B28.1-10*

**IMPLEMENTASI TEKNIK STEGANALISIS MENGGUNAKAN METODE IMPROVEMENT DIFFERENCE IMAGE HISTOGRAM PADA STEGANOGRAFI LSB**

*Friski Gatra Pamungkas, Bambang Hidayat, Nur Andini*

*B29.1-7*

**ANALISIS PERFORMANSI ALGORITMA ProPHETv2 ROUTING BERBASIS VEHICULAR DELAY-TOLERANT NETWORK (VDTN)**

*Gumilar Hadi Prabowo, Rendy Munadi, Leanna Vidya Yovita*

*B30.1-7*

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI MESIN PEMILAH WARNA BERBASIS ARDUINO UNO**

*Ivan Laudries, Hendra Tjahyadi, Arnold Aribowo*

*B31. 1-5*

**PENGOLAHAN CITRA RADIOGRAF PERIAPIKAL PADA DETEKSI PULPITIS MENGGUNAKAN METODE WATERSHED**

*Imam Abdul Hakim, Bambang Hidayat, Suhardjo*

*B32. 1-7*

**TEKNOLOGI PEMANTAUAN KESEJAHTERAAN JANIN DI INDONESIA**

*Irmalia Suryani Faradisa, Tri Arief Sardjono, Mauridhi Hery Purnomo*

*B33. 1-6*

**PENGEMBANGAN PENGUKURAN POLA MEDAN DEKAT ENDLESSLY SINGLE-MODE PHOTONIC CRYSTAL FIBER**

*Julinda Pangaribuan, Henri Uranus, Lina Cahyadi, Junita, Yoseph Subono*

*B34. 1-4*

**PERANCANGAN ANTENA ARRAY 1×2 RECTANGULAR PATCH DENGAN U-SLOT  
UNTUK APLIKASI 5G**

*Kevin Jones A S, Levy Olivia Nur, Budi Syihabuddin*

*B35. 1-9*

**OPTIMASI AUDIO WATERMARKING BERDASARKAN FITUR LOG COORDINATE  
MAPPING (LCM) DENGAN METODE SPREAD SPECTRUM MENGGUNAKAN  
ALGORITMA GENETIKA**

*Kris Sunu Purnandaru, Imam Abdul Hakim, Gelar Budiman*

*B36. 1-9*

**IMPLEMENTASI ALGORITME HIGH PASS FILTER PADA FPGA MENGGUNAKAN  
PROSESOR NIOS II**

*Kunnu Purwanto, Agus Bejo, Addin Suwastono*

*B37. 1-6*

**PERANCANGAN DATA WAREHOUSE E-PROCUREMENT PADA INSTANSI  
PEMERINTAHAN**

*Luky Hidayat, Adhistya Erna Permanasari, Igi Ardiyanto*

*B38.1-6*

**ANTISWING WIRELESS OVERHEAD CRANE MENGGUNAKAN METODE KOMBINASI  
FUZZY LOGIC DAN PD SYSTEM , SISTEM KENDALI POSISI DAN SUDUT SWING  
PADA OVERHEAD CRANE**

*Luluk Anjar Rahmawati, Ekki Kurniawan, Agung Surya Wibowo*

*B39.1-5*

**ALAT MONITORING KECEPATAN DAN ARAH ANGIN BERBASIS ARDUINO UNO  
SEBAGAI PENDUKUNG MITIGASI BENCANA DENGAN INFORMASI SMS GATEWAY**

*M. Andang Novianta, Emy Setyaningsih*

*B40.1-9*

**PERANCANGAN DAN SIMULASI ANTENA MIKROSTRIP ULTRA WIDEBAND UNTUK  
DETEKSI KANKER PAYUDARA**

*Maulida Yumnisari, Bambang Setia Nugroho, Pamungkas Daud*

*B41.1-7*

**ANALISIS KINERJA FLYBACK CURRENT-FED PUSH-PULL DC-DC CONVERTER PADA  
MODE BUCK**

*Mohammad Taufik, Bernard Y Tumbelaka, Taufik*

*B42.1-5*

**DESAIN ANTENA MIKROSTRIP MIMO 2x2 UNTUK KANDIDAT KOMUNIKASI 5G  
PADA FREKUENSI 28 GHz**

*Muhammad Arsyad, Bambang Setia Nugroho, Budi Syihabuddin*

*B43.1-6*

**PERANCANGAN DAN ANALISIS PENGIRIMAN DATA DIGITAL BERBASIS VISIBLE  
LIGHT COMMUNICATION**

*Nenggala Yudhabrama, Inung Wijayanto, Sugondo Hadiyoso*

*B44.1-7*

**ANALISIS EVALUASI STABILITAS DAN KEAMANAN SISTEM TENAGA DENGAN BEROPERASINYA PLTU CELUKAN BAWANG PADA SISTEM KELISTRIKAN BALI 15-BUS MENGGUNAKAN *SHUNT FACTS CONTROLLER***

*Ni Putu Agustini, Lauhil Mahfudz Hayusunan, I Made Wartana*

*B45.1-12*

**IMPLEMENTASI *SEAMLESS MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING (MPLS)* PADA JARINGAN MPLS**

*Nisa Aulia Nurhasanah, Ida Wahidah, Bambang Cahyono*

*B46.1-6*

**SISTEM TELECARDIAC MONITORING EKSTRAKSI DAN TRANSMISI PARAMETER TEMPORAL SINYAL JANTUNG MELALUI KANAL RADIO**

*Norma Hermawan, Muh. Farid Retistianto, Achmad Arifin*

*B47.1-6*

**PERANCANGAN *AUDIO WATERMARKING* BERBASIS *DISCRETE WAVELETE TRANSFORM* DAN *MODIFIED DISCRETE COSINE TRANSFORM* DENGAN OPTIMASI ALGORITMA GENETIKA**

*Olga Madayanti, Dianita Rosari, Gelar Budiman, Suci Auli, Irma Safitri*

*B48.1-6*

**EKSTRAKSI PERMUKAAN LUAR TULANG TENGGORAK MENGGUNAKAN COMPASS SCANNING**

*Pauladie Susanto, Hany Boedinugroho, Eko Pramunanto, Eko Mulyanto Yuniarno, Mauridhi Hery Purnomo*

*B49.1-7*

**SIMULASI DAN ANALISIS MANAJEMEN INTERFERENSI PADA LTE FEMTOCELL BERBASIS SOFT FREQUENCY REUSE**

*Pitkahismi Wimadatu, Uke Kurniawan Usman, Linda Meylani*

*B50.1-7*

**PENERAPAN ALGORITMA BACK-PROPAGATION UNTUK OPTIMASI COVERAGE & CHANNELING PLAN DVB-T2 DI INDONESIA**

*Ratih Dyah Anggraeni Wiyoto, Endroyono*

*B51.1-9*

**DESAIN ANTENA MIKROSTRIP MIMO 6X2 MENGGUNAKAN U-SLOT DAN GROUNDPLANE PARTIAL PADA FREKUENSI 1.8 GHZ UNTUK APLIKASI LTE**

*Reza Zahrul Falah, Bambang Setia Nugroho, Yuyu Wahyu*

*B52.1-8*

**ANALISIS AUDIO WATERMARKING MENGGUNAKAN LIFTING WAVELET BERDASARKAN KARAKTERISTIK STATISTIK DARI SUB-BAND KOEFISIEN DENGAN OPTIMASI ALGORITMA GENETIKA**

*Rike Arfina, Maghfira Rifki Hariadi, Gelar Budiman*

*B53.1-10*

**PENGOLAHAN CITRA RADIOGRAF PERIAPIKAL PADA DETEKSI PENYAKIT PULPITIS MENGGUNAKAN METODE ADAPTIVE REGION GROWING APPROACH**

*Rikko Ismail Hardianzah, Bambang Hidayat, Suhardjo*

*B54.1-6*



**IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNO R3 UNTUK SISTEM PENETASAN TELUR AYAM**

*Ritzkal, Arief Goeritno, Keny Aldiansyah Mohammad Aziz, Andik Eko Kristus Pramuko, Ade Hendri Hendrawan*

*B55.1-10*

**ASSOCIATION RULE PADA POINT OF SALE SWALAYAN DENGAN MARKET BASKET ANALYSIS**

*Rofi Abul Hasani, Indah Soesanti, Silmi Fauziati*

*B56.1-7*

**IDENTIFIKASI POLA RUGAE PALATINA MENGGUNAKAN METODE WATERSHED DAN KNN**

*Rosarila Dwi Jayanti, Bambang Hidayat, Suhardjo*

*B57.1-6*

**ANALISIS OPTIMASI METODE DISCRETE WAVELET TRANSFORM PADA AUDIO WATERMARKING BERBASIS CEPSTRUM DENGAN ALGORITMA GENETIKA**

*Shafa Meisan Fadhilah, Tyassari kusumaningsih, Gelar Budiman, Irma Safitri*

*B58.1-6*

**STEGANALISIS CITRA DIGITAL BERBASIS DISCRETE COSINE TRANSFORM DENGAN MENGGUNAKAN METODE K-NEAREST NEIGHBOR**

*Sheira Banu Nasution, Bambang Hidayat, I Nyoman Apraz Ramatryana*

*B59.1-6*

**PENGENALAN INDIVIDU BERDASARKAN SIDIK RUGAE PALATINA DENGAN MENGGUNAKAN METODE SINGULAR VALUE DECOMPOSITION SEBAGAI PENGOLAH EKSTRAKSI CIRI DAN SUPPORT VECTOR MACHINE SEBAGAI KLASIFIKATOR**

*Shofi Annisa Fajrin, Bambang Hidayat, Fahmi Oscandar*

*B60.1-5*

**PENGEMBANGAN SISTEM PENGAMAN RUMAH DENGAN SECURITY PASSWORD MENGGUNAKAN SENSOR GERAK BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA8**

*Sriwati, Faridah, Syarifuddin Baco*

*B61.1-8*

**SISTEM MONITORING KONDISI AIR CONDITIONING BERDASARKAN PENGGUNAAN ENERGI DAN SUHU RUANG**

*Suhanto, Kustori*

*B62.1-6*

**PENINGKATAN BANDWIDTH ANTENA MIKROSTRIP LINGKARAN MENGGUNAKAN METODE BELEVED HALF CUT**

*Teguh Firmansyah, Herudin, Anggoro SP, Toto Supriyanto*

*B63.1-5*

**PERENCANAAN DAN ANALISA KAPASITAS SKEMA OFFLOAD TRAFIK DATA PADA JARINGAN LTE DAN 802.11AH**

*Tiara Yunita Ekawati, Doan Perdana, Dwi Septiaji*

*B64.1-6*

**OPTIMASI AUDIO WATERMARKING BERBASIS DISCRETE WAVELET TRANSFORM (DWT) DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK M-ARY MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA**

*Tussy Pramestya, Vivin Fauziah Ramadhani, Gelar Budiman, Azizah*

*B65. 1-8*

**AUDIO WATERMARKING DENGAN DISCRETE WAVELET TRANSFORM DAN HISTOGRAM MENGGUNAKAN OPTIMASI ALGORITMA GENETIKA**

*Vera Noviana Sulistyawan, Yohana Karina, Gelar Budiman*

*B66. 1-7*

**PENGOLAHAN CITRA RADIOGRAF PERIAPIKAL PADA DETEKSI PENYAKIT GRANULOMA DENGAN METODE MULTI WAVELET**

*Vivi Oktaviani Damanik, Bambang Hidayat, Suhardjo*

*B67. 1-8*

**STEGANALISIS UNTUK FILE AUDIO BERFORMAT MP3 DENGAN METODE LEAST SIGNIFICANT BIT (LSB) PADA KLASIFIKASI PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA)**

*Vivin Fauziah Ramadhani, Bambang Hidayat, Azizah*

*B68.1-8*

**SIMULASI DAN ANALISIS JARINGAN TIME AND WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING PASSIVE OPTICAL NETWORK MENUJU NEXT GENERATION NETWORK**

*Windy Herlin Ali*

*B69. 1-6*

**ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KEPUASAN PENGGUNA APLIKASI BILLING ONLINE DIREKTORAT JENDERAL BEA DAN CUKAI**

*Yoga Anggoro, Eko Nugroho, Paulus Insap Santosa*

*B70.1-7*

**IMPLEMENTASI PROSES HANDSHAKING PADA SATELIT NANO DENGAN STASIUN BUMI MENGGUNAKAN PROTOKOL AX.25**

*Yusuf Pradana Gautama, Budi Syihabuddin, Imung Wijayanto*

*B71.1-7*

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK SKALA KECIL MENGGUNAKAN KINCIR ANGIN SUMBU VERTIKAL LENZ2 PORTABEL**

*Yusuf Ismail Nakhoda, Chorul Saleh*

*B72.1-7*

**ANALISA CRITICAL CLEARING TIME PADA KESTABILAN TRANSIENT SISTEM TENAGA LISTRIK AKIBAT KONDISI GANGGUAN TIDAK SEIMBANG**

*Irrine Budi Sulistiawati, Ardyono Priyadi, Isa Hafidz, M Ibrahim Ashari*

*B73.1-6*

# **ANALISIS EVALUASI STABILITAS DAN KEAMANAN SISTEM TENAGA DENGAN BEROPERASINYA PLTU CELUKAN BAWANG PADA SISTEM KELISTRIKAN BALI 15-BUS MENGGUNAKAN SHUNT FACTS CONTROLLER**

*Ni Putu Agustini<sup>1)</sup>, Lauhil Mahfudz Hayusunan<sup>2)</sup>, I Made Wartana<sup>3)</sup>*

*<sup>1),2),3)</sup> Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang  
Jl. Sigura-gura 2 Malang  
Email : [niputu.agustini@yahoo.co.id](mailto:niputu.agustini@yahoo.co.id)*

**Abstrak .** Dalam penelitian ini diimplementasikan model baru meningkatkan kinerja sistem kelistrikan berdasarkan dua jenis stabilitas sistem yakni: indeks stabilitas tegangan dan faktor stabilitas saluran, serta dengan tetap menjaga keamanan sistem berdasarkan pada margin tegangan bus dan batas thermal saluran transmisi pada batas-batas yang diijinkan. Model ini dievaluasi pada sistem uji praktikal akibat terinterkoneksinya pembangkitan baru ke dalam sistem grid dalam upaya mengantisipasi peningkatan pembebanan sistem. Untuk menjamin stabilitas dan keamanan sistem akibat interkoneksi pembangkit baru tersebut, maka dilakukan dengan penempatan optimal salah satu tipe piranti kendali canggih, yaitu Shunt FACTS (Flexible AC Transmission Systems) Controller, yaitu Static VAR Compensator atau yang dikenal dengan SVC. Piranti pengendali yang mampu menginjeksi dan menyerap daya reaktif tersebut dimodelkan dalam Power System Analysis Tool (PSAT) dan selanjutnya digabungkan dalam analisis aliran daya Newton Raphson. Efektifitas metodologi yang dikembangkan ini telah berhasil diuji pada sistem paktikal yaitu sistem kelistrikan Bali 10 kV, 15-bus akibat terinterkoneksinya Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batubara, Celukan Bawang sehingga diperoleh peningkatan profile tegangan sekaligus reduksi rugi daya saluran.

**Katakunci:** Indeks stabilitas tegangan, faktor stabilitas saluran, FACTS, SVC, keamanan sistem.

## **1. Pendahuluan**

Sistem tenaga listrik menghadapi tantangan baru akibat direkonstruksi di bawah deregulasi dan restrukturisasi pasar listrik [1]. Seiring dengan deregulasi tersebut, beban listrik cenderung meningkat sehingga perlu adanya penambahan pembangkit baru ke dalam jaringan sistem tenaga listrik (grid) serta membangun jaringan transmisi baru untuk mengantisipasi peningkatan transaksi tenaga listrik secara signifikan. Hal ini mengakibatkan jaringan transmisi menyalurkan beban listrik mendekati batas termalnya.

Kondisi ini tentu menarik pengelola sistem tenaga listrik dalam hal ini PT PLN untuk menemukan cara yang tepat yang memungkinkan penyaluran daya listrik dengan ke konsumen lebih efisien dengan cara melakukan pengendalian aliran daya listrik [2]. Bali sebagai rujukan utama destinasi pariwisata Indonesia bahkan dunia, harus didukung dengan berbagai sarana dan prasarana, salah satunya yang terpenting adalah ketersediaan pasokan energi listrik yang memadai. Saat ini pasokan listrik yang tersedia hanya 600 mega watt (MW), sedangkan jumlah yang dipakai saat ini mencapai 570 MW saat beban puncak, sehingga dengan kondisi tersebut, maka Bali harus mendapatkan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan di Bali pada tahun 2015 yang mencapai 1.095 MW. Untuk mengantisipasi kenaikan kebutuhan listrik yang terus meningkat tersebut, serta secara perlahan mengurangi ketergantungan pasokan listrik dari Jawa, maka pengoperasian PLTU Celukan Bawang mutlak dilakukan. Pengoperasian pembangkit baru tidaklah cukup tanpa dibarengi dengan perluasan sistem seperti penambahan GI baru. Peningkatan kebutuhan akan energi listrik di Bali bukan saja akan mengakibatkan penambahan pembangkit listrik baru yaitu PLTU Celukan Bawang tetapi juga berakibat pada penambahan GI baru seperti GI Pemecutan Kelod. Pengoperasian pembangkit dan GI ini akan memberikan perubahan pada profil sistem kelistrikan Bali [3]. Agar pengoperasian pembangkit dan penambahan GI baru tersebut mampu memasok kenaikan beban listrik yang terjadi di Bali untuk beberapa tahun ke depan dengan kontinuitas dan keandalan yang baik maka perlu dianalisis dan dievaluasi stabilitas dan keamanan sistem kelistrikan Bali tersebut

Banyak teknologi terbaru dikembangkan dalam sistem tenaga listrik, yang membuat utilitas mampu mengendalikan aliran daya dalam mengantisipasi peningkatan pembebanan daya listrik, batas termal saluran transmisi, stabilitas sistem transmisi, dan meningkatkan keamanan sistem transmisi [4]. Selain itu, berbagai perangkat kendali modern telah dikembangkan dan digunakan untuk memaksimalkan kemampuan mentransfer daya sekaligus meminimalkan kerugian daya sistem transmisi, yang mengarah kepada pemanfaatan efisien dan meningkatkan performansi sistem tenaga yang ada [5].

Jika dibandingkan dengan strategi pengendalian korektif, seperti penjadwalan pembangkit dan pemutusan beban, pemanfaatan sistem kendali modern seperti piranti FACTS (Flexible AC Transmission system) di masa depan merupakan alternatif yang lebih ekonomis dalam upaya menurunkan biaya operasional dan biaya investasi pengembangan sistem jaringan baru, walaupun biaya perangkat ini masih relatif mahal dan sistem pengoperasiannya termasuk rumit [6], [7].

Penelitian ini menerapkan salah satu metode baru berdasarkan teknik optimasi evolusi yang dikenal dengan nama *Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam menganalisis dan mengevaluasi stabilitas dan keamanan sistem tenaga listrik pada kondisi pembebanan maksimal sistem dengan beroperasinya pembangkitan baru ke dalam sistem grid. Hal ini dilakukan dengan penempatan optimal salah satu *Shunt FACTS Controller* yaitu SVC pada sistem uji praktikal yaitu sistem kelistrikan Bali 150 kV, 15-bus [8] sehingga penambahan pembangkit baru ke dalam sistem grid tersebut tetap menjamin sistem dalam margin stabilitasnya yang terdiri dari: indeks stabilitas tegangan (IST) dan faktor stabilitas saluran (FSS) serta menjaga keamanan sistem berdasarkan batas-batas tegangan bus dan kapasitas thermal penyaluran daya pada batas yang diijinkan. Disamping itu untuk menghindari kenaikan rugi saluran yang berlebihan akibat kenaikan pembebanan sistem, maka program yang dikembangkan ini juga akan sekaligus meminimalkan rugi daya aktif saluran ketika terinterkonksinya pembangkit baru tersebut ke dalam grid sehingga performansi sistem dapat ditingkatkan.

### 1.1. Pemodelan Piranti Kendali *Shunt FACTS*

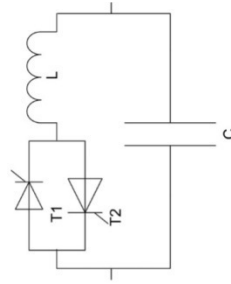
Variabel dan parameter saluran transmisi diantaranya: reaktansi saluran, besaran tegangan dan sudut fasa dapat dikontrol dengan cara yang cepat dan efektif menggunakan piranti *FACTS (Flexible AC Transmission System)*. Banyak keuntungan yang bisa diperoleh dengan menggunakan FACTS tersebut diantaranya meningkatkan stabilitas sistem jaringan listrik seperti stabilitas transient, stabilitas sinyal kecil dan juga dapat meningkatkan keandalan sistem tenaga [10]. Disamping itu memaksimalkan pembebanan sistem juga dapat dilakukan dengan penempatan optimal dan pengaturan parameter dari piranti pengendali FACTS ini. Namun demikian pengendali aliran daya merupakan fungsi utama dari FACTS tersebut [11].

*Static Var Compensator* (SVC) merupakan salah satu tipe dari pengendali *FACTS Shunt* yang banyak digunakan pada sistem kelistrikan modern di beberapa belahan dunia. Piranti kendali SVC ini dihubungkan secara parallel (Shunt) dengan bus beban untuk mengkompensasi reaktansi induktif pada bus tersebut sebagaimana ditunjukkan persamaan (6). Dalam penelitian ini SVC dimodelkan sebagai injeksi daya reaktif ideal pada busi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 [12].

$$\Delta Q_i = Q_{SVC} \quad (1)$$

Pemodelan tersebut dilengkapi dengan persamaan aljabar yang mengekspresikan injeksi daya reaktif pada node SVC tersebut seperti ditunjukkan persamaan (7) [13].

$$Q_{SVC} = b_{SVC} V^2 \quad (2)$$



Gambar 1. Pemodelan piranti kendali SVC

## 1.2. Stabilitas dan Keamanan Daya System

### 1.2.1. Indeks Stabilitas Tegangan

Indeks stabilitas tegangan atau yang dapat disingkat dengan IST dikembangkan oleh [14] dan digunakan dalam penelitian ini untuk menjamin pembebanan sistem tiap bus aman. IST adalah perangkat yang digunakan untuk menunjukkan kondisi stabilitas tegangan yang dirumuskan berdasarkan saluran atau *bus* seperti yang didefinisikan dengan persamaan (8) berikut.

$$IST_{ik} = \frac{4Z^2 Q_k}{V_i^2 X} \quad (3)$$

dengan, Z adalah impedansi saluran, X adalah reaktansi saluran, Q, adalah daya reaktif pada sisi terima, dan  $V_i$  adalah tegangan pada sisi kirim.

Saluran yang menunjukkan IST mendekat inilai 1,00 berarti bahwa saluran tersebut mendekati titik ketidakstabilan. Jika IST melampaui 1,00, berarti salah satu *bus* yang terhubung dengan saluran tersebut akan mengalami penurunan tegangan tiba-tiba yang menyebabkan runtuhnya sistem. Indeks IST digunakan pada sistem kendali tenaga listrik untuk menjamin bahwa tidak akan ada *bus* jatuh akibat pembebanan lebih.

### 1.2.2. Faktor Stabilitas Saluran

Indeks stabilitas sitem juga dijamin oleh faktor stabilitas saluran yang dapat disingkat dengan istilah FSS yang diusulkan oleh A Mohamedetal [15]. Formulasi dimulai dengan persamaan keadaan sistem tenaga dan dinyatakan sebagaimana persamaan (4) berikut.

$$FSS = 4 \left( \frac{X}{V_i^2} \right) \left( \frac{X}{V_i^2} P_i^2 + Q_k \right) \quad (4)$$

dengan, X adalah reaktansi saluran,  $V_i$  adalah tegangan sisi kirim,  $P_i$  adalah daya nyata pada sisi kirim dan Q adalah daya pada sisi terima. FSS harus dijaga kurang dari 1,00 untuk mempertahankan sistem yang stabil. FSS menjamin system sehingga tidak ada saluran melampaui batas atas kemampuan pengiriman daya saluran dalam segala kondisi pembebanan grid.

## 1.3. Optimasi Pembebanan Sistem

Pengendali FACTS ditempatkan pada jaringan tenaga listrik dalam upaya meningkatkan pembebanan sistem, dan pada saat yang sama untuk mencegah terjadinya pembebanan lebih pada saluran dan pelanggaran tegangan pada *bus* sistem. Fungsi obyektif berdasarkan pengukuran indeks pembebanan lebih dan keamanan sistem dalam hal ini tingkat tegangan dan pembebanan cabang. Formulasi matematika untuk peningkatan pembebanan lebih sistem dirumuskan dalam (5) dan (6) berikut [16]:

$$Max F_1(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \lambda) \quad (5)$$

$$s.t. \quad \left. \begin{array}{l} g(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \lambda) = 0 \\ h(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \lambda) \leq 0 \end{array} \right\} \quad (6)$$

dengan,  $\mathbf{x}$  dan  $\mathbf{u}$  menunjukkan variabel dependen dan variabel kontrol,  $\lambda$  adalah faktor pembebanan lebih dalam %,  $g(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \lambda)$  adalah seperangkat kendala persamaan nonlinier (persama analiran daya) dengan faktor pembebanan lebih, dan  $h(\mathbf{x}, \mathbf{u})$  adalah himpunan kendala ketimpangan nonlinier. Vektor  $\mathbf{x}$  terdiri dari pembangkit listrik reaktif, daya slackbus, tegangan dari semua bus beban. Vektor  $\mathbf{u}$  terdiri dari tegangan semua bus generator, pembangkit listrik nyata, arus saluran transmisi, faktor pembebanan lebih, lokasi optimal *FACTS Controler* dan pengaturan optimal dengan memenuhi kendala keamanan sistem sebagai berikut [17]:

$$VL = \sum_{i=1}^{N_l} OLL_i \times \sum_{j=1}^{N_b} BVV_j \quad (7)$$

dengan,  $VL$  adalah faktor pelanggaran batas termal dan bus,  $OLL_i$  dan  $BVV_j$  masing-masing merupakan faktor pembebanan lebih saluran dan faktor pelanggaran tegangan bus, sebagaimana diuraikan dalam (7) dan (11);  $N_l$  dan  $N_b$  masing-masing adalah jumlah total saluran transmisi dan bus. Sedangkan  $\lambda_i$  adalah parameter beban dari sistem, untuk mencari jumlah maksimum jaringan yang mampu memasok daya dalam margin keamanan sistem.

Parameter beban,  $\lambda$  dalam (10) didefinisikan sebagai fungsi dari faktor beban  $\lambda_f$ :

$$\lambda = \exp[\gamma |\lambda_f - \lambda_f^{\max}|] \quad \lambda_f \in [1, \lambda_f^{\max}] \quad (8)$$

dengan,  $\gamma$  adalah koefisien untuk menyesuaikan kemiringan fungsi, dan merupakan batas maksimal  $\lambda_f$ . Factor beban  $\lambda_f$  mencerminkan variasi daya beban  $P_i$  dan  $Q_b$  yang didefinisikan sebagai [2]:

$$P_i(\lambda_f) = \lambda_f P_{i=m+1, \dots, N_b} \quad (9)$$

$$Q_i(\lambda_f) = \lambda_f Q_{i=m+1, \dots, N_b} \quad (10)$$

dengan,  $m$  adalah jumlah bus generator.  $\lambda_f=1$  menunjukkan beban kasus dasar. Indek-indek keadaan keamanan sistem terdiri dari dua bagian. Bagian pertama,  $OLL_i$ , berkaitan dengan pembebanan saluran dan pelanggaran pembebanan lebih dalam saluran. Nilai  $OLL_i$  sama dengan 1 jika pembebanan saluran cabang kurang dari rating.  $OLL_i$  meningkat secara *alorarithmik* (logaritma yang sebenarnya) dengan pembebanan dan dapat dihitung dari [18]:

$$OLL_i = \begin{cases} 1; & \text{if } P_{ik} \leq P_{ik}^{\max}, \\ \exp\left(\Gamma_{OLL} \left|1 - \frac{P_{ik}}{P_{ik}^{\max}}\right|\right); & \text{if } P_{ik} \geq P_{ik}^{\max}, \end{cases} \quad (11)$$

dengan,  $P_{ik}$  merupakan aliran daya nyata antara bus  $i$  dan  $k$  dan batas termal untuk batas antara bus  $i$  dan  $k$  masing-masing adalah koefisien yang digunakan untuk menyesuaikan kemiringan fungsi eksponensial.

Pada  $BVV_k$  bagian kedua dalam (10) menyangkut level tegangan untuk setiap bus dari jaringan listrik. Nilai  $BVV_k$  didefinisikan sebagai [5]:

$$BVV_k = \begin{cases} 1; & \text{if } 0.9 \leq V_b \leq 1.1 \\ \exp(\Gamma_{BVV} |1 - V_b|); & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

dengan,  $BVV_k$  adalah faktor pelanggaran tegangan bus di bus  $k$  dan merupakan koefisien yang digunakan untuk mengatur kemiringan fungsi eksponensial dalam persamaan di atas. Persamaan (15) menunjukkan bahwa besaran tegangan yang sesuai adalah mendekati 1 pu. Serupa dengan  $OLL_i$ , nilai  $BVV_k$  adalah sama dengan 1 jika

tingkat tegangan jatuh antara batas tegangan minimal dan maksimal. Di luar jangkauan,  $BVV_k$  meningkat secara eksponensial sesuai variasi tegangan.

#### 1.4. Minimisasi Rugi-rugi Daya

Fungsi tujuan ini adalah untuk meminimalkan kerugian daya aktif ( $P_{loss}$ ) di jalur transmisi yang dapat dinyatakan sebagai [19]:

$$F_2(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \sum_{n=1}^{N_l} g_n [V_i^2 + V_k^2 - 2V_i V_k \cos t(\delta_i - \delta_k)] \quad (13)$$

dengan,  $N_l$  adalah jumlah jalur transmisi;  $g_n$  adalah konduktansi dari  $n$  saluran;  $V_i \angle \delta_i$  dan  $V_k \angle \delta_k$  masing-masing adalah tegangan pada akhir bus- $i$  dan  $k$  dari  $n$  saluran.

#### 1.5. Kendala Kesamaan

Kendala ini merupakan persamaan aliran daya khas sebagai berikut [9]:

$$P_{G_i} = P_{L_i} + V_i \sum_{k=1}^{N_b} V_k (G_{ik} \cos \delta_{ik} + B_{ik} \sin \delta_{ik}); \quad 1 = 1, 2, 3, \dots, N_b \quad (14)$$

$$Q_{G_i} = Q_{L_i} + V_i \sum_{k=1}^{N_b} V_k (G_{ik} \sin \delta_{ik} - B_{ik} \cos \delta_{ik}); \quad 1 = 1, 2, 3, \dots, N_b \quad (15)$$

dengan,  $N_b$  adalah jumlah bus dalam sistem.

#### 1.6. Kendala Ketidaksamaan

Kendala ketidaksamaan  $h(x, u)$  adalah batas variabel control dan variabel keadaan. Daya nyata generator  $P_G$ , daya reaktif  $Q_G$ , tegangan  $V_b$  dan sudut fase  $\delta_i$  dibatasi oleh batas-batas sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} P_{G_i}^{\min} &\leq P_{G_i} \leq P_{G_i}^{\max} & i = 1, \dots, m \\ Q_{G_i}^{\min} &\leq Q_{G_i} \leq Q_{G_i}^{\max} & i = 1, \dots, m \\ V_i^{\min} &\leq V_i \leq V_i^{\max} & i = 1, \dots, N_b \\ -0.9 &\leq \delta_i \leq 0.9 & i = 1, \dots, N_b \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Kendala pembebanan transmisi  $P_{ik}$  direpresentasikan sebagai:

$$|P_{ik}| \leq P_{ik}^{\max}; \quad ik = 1, \dots, N_l \quad (17)$$

Pada  $\lambda_f$  load factor dibatasi oleh batas-batasnya sebagai:

$$1 \leq \lambda_f \leq \lambda_{f_l}^{\max} \quad (18)$$

#### 1.7. Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO adalah teknik optimasi stokastik heuristik yang relatif baru dan diperkenalkan oleh Eberhart dan Kennedy [20]. Hal ini didasarkan pada gerakan dan kecerdasan ribuan serangga atau ternak burung dan kelompok-kelompok sejenis. Dalam sistem PSO, kelompok ini adalah sebuah komunitas terdiri dari semua partikel terbang bergerak di dalam ruang multi dimensi. Sementara dalam penerbangannya, setiap partikel memodifikasi posisinya menurut pengalaman sendiri, serta pengalaman partikel tetangga, sampai menemukan sebuah titik relatif statis atau sampai melampaui batas-komputasi nya.

Setiap partikel dalam ruang pencarian didefinisikan dengan unsur-unsur berikut [21] dengan  $x_i^k$  : adalah nilai dari partikel  $i$  pada generasi  $k$ . Pembaruan partikel dalam ruang pencarian didefinisikan dengan (20);  $p_{best}$  adalah nilai terbaik ditemukan oleh partikel  $i$  sampai generasi  $k$ ;  $v_i^k$  adalah kecepatan partikel pada  $k$  generasi. Pembaruan kecepatan selama prosedur pencarian yang disajikan oleh (24);  $g_{best}$  adalah partikel terbaik yang ditemukan dalam kelompok sampai generasi  $k$ .

$$v_i^{k+1} = \omega \times x_i^k + v_i^{k+1} \quad (19)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^k + c_1 \times rand_1 \times (p_{best_i} - x_i^k) + c_2 \times rand_2 \times (g_{best} - x_i^k) \quad (20)$$

dengan:

$\omega$  : fungsi bobot,  $p_{best_i}$  :  $p_{best}$  dari partikel  $i$ ,  
 $c_j$  : factor bobot,  $g_{best}$  :  $g_{best}$  dari group.  
 $rand_i$  : angka acak antara 0 and 1,

Fungsi bobot berikut biasanya digunakan:

$$\omega = \omega_{max} - \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (21)$$

dengan:

$\omega_{max}$  : bobot awal,  $iter_{max}$  : jumlah iterasi maksimal,  
 $\omega_{min}$  : bobot akhir,  $iter$  : jumlah iterasi sekarang.

### 1.8. Perhitungan fungsi fitness

Metodologi penyelesaian masalah dilakukan penelitian ini dengan langkah-langkah sebagai berikut :  
 Masalah optimasi pembebanan sistem dan meminimalkan rugi daya dirubah menjadi masalah optimasi tanpa kendala dengan menggunakan faktor penalti (FP) seperti yang diberikan dalam (22). Dengan demikian persamaan ini menjadi fungsi *fitness* dalam teknik PSO:

$$\text{Fungsi fitness} = \mu_1 F_1 - \mu_2 F_2 + FP \times |VL - 1| \quad (22)$$

Persamaan (22) terdiri dari tiga suku persamaan. Suku pertama adalah fungsi tujuan untuk memaksimalkan pembebanan sistem sebagaimana ditunjukkan persamaan (8), suku kedua merupakan fungsi tujuan kedua untuk meminimalkan rugi-rugi daya saluran transmisi seperti ditunjukkan persamaan (13). Sedangkan suku terakhir, merupakan kendala pelanggaran keamanan sistem sesuai persamaan (7) yang dikalikan dengan PF untuk menghitung fungsi *fitness* yang diberikan oleh (22) untuk setiap partikel.  $\mu_1$  adalah koefisien pembobotan yang digunakan untuk menyesuaikan kemiringan PSO. Untuk setiap partikel, data-data saluran dan bus diperbarui sesuai kenaikan pembebanan sistem. Metode aliran daya NR dijalankan untuk mendapatkan tegangan pada setiap bus dan aliran daya saluran. Dengan hasil ini, nilai  $VL$  untuk setiap partikel diperoleh dengan menggunakan (7) dan fungsi *fitness* dari setiap partikel dihitung dengan menggunakan (22). Partikel yang memberikan nilai maksimum untuk fungsi *fitness* dalam populasi dianggap sebagai partikel  $g_{best}$ . Kecepatan dan posisi baru setiap partikel dihitung masing-masing dengan menggunakan persamaan (19) dan (20). Prosedur ini diulang sampai jumlah maksimum iterasi tercapai sehingga nilai  $VL$  dan semua kendala stabilitas seperti yang ditunjukkan pada (5) dan (6) untuk partikel  $g_{best}$  diperiksa. Jika nilainya sama dengan 1, kemudian dengan menggunakan partikel  $g_{best}$  nilai saat ini dari pembebanan sistem dapat dipenuhi tanpa terjadi pelanggaran pada aliran daya saluran, kendala batas tegangan bus dan semua kendala stabilitas dalam batas yang diijinkan. Partikel  $g_{best}$  disimpan bersama-sama dengan pembebanan sistem dan rugi-rugi daya saluran.

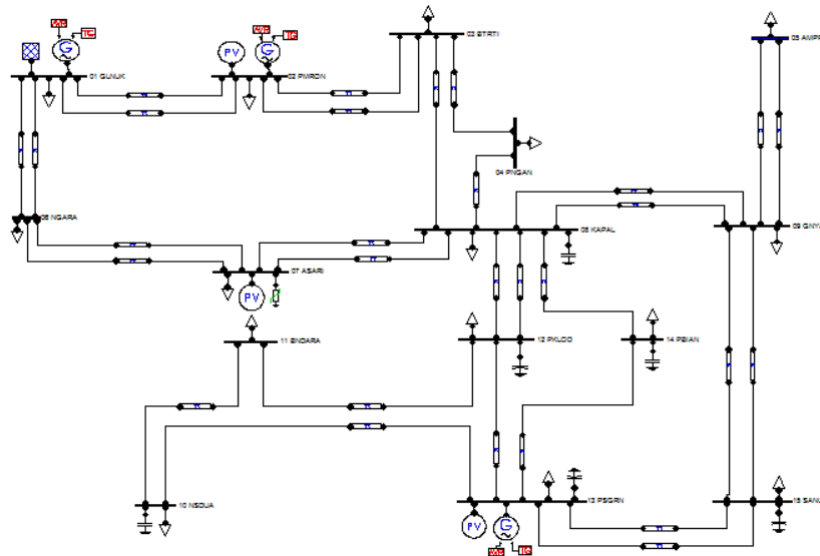


Kemudian pembebanan sistem meningkat lagi ketika algoritma PSO dijalankan. Jika nilai  $VL$  untuk partikel  $g_{best}$  tidak sama dengan 1 maka partikel  $g_{best}$  tidak dapat memenuhi pembebanan sistem saat ini dan partikel  $g_{best}$  dengan  $VL = 1$  yang diperoleh dalam langkah sebelumnya dianggap sebagai pengaturan optimal terbaik. Pembebanan sistem yang sesuai dengan partikel  $g_{best}$  dianggap sebagai pembebanan sistem maksimal.

## 2. Pembahasan

### 2.1. Data dan Metode Simulasi

Sebagaimana diuraikan sebelumnya, dalam penelitian ini metode yang dikembangkan akan diuji pada sistem uji praktikal yaitu sistem kelistrikan Bali 150 kV, 15-bus [8] terdiri dari sebuah bus *slack* yaitu bus GLNUK (Gilimanuk) yang merupakan suplai daya dari sisem interkoneksi Jawa-Bali. Sedangkan dua bus generator terletak di 2 pembangkit yang terletak pada bus PMRON (Pemararon) dan bus PSGRN (Pesanggaran) dengan kapasitas masing-masing adalah 130 MW dan 503.3 MW. Sistem praktikal ini mempunyai 29 saluran dan total beban aktif dan reaktif masing-masing adalah 708.8 MW dan 234.5 MVar yang *single line diagram* dari sistem tersebut setelah diolah menggunakan PSAT seperti ditunjukkan Gambar 2. Untuk menguji keberhasilan program dalam menyelesaikan masalah optimasi yang dikembangkan dalam penelitian ini, simulasi program telah dilakukan dengan menyelesaikan bersoalan dua fungsi objektif secara simultan yaitu memaksimalkan pembebanan sistem (Max  $PS$ ) sekaligus meminimalkan rugi-rugi daya aktif (Min  $P_{loss}$ ) saluran transmisi. Hal ini dilakukan dengan penempatan optimal piranti kendali SVC untuk sistem uji praktikal baik pada kondisi *base case* (Kasus-1), maupun setelah interkoneksi pembangkit baru yaitu PLTU Celukan Bawang yang mempunyai kapasitas daya mampu sebesar 380 kW, 150 Volt, ke dalam *grid* (Kasus-2).



Gambar 2. Diagram garis tunggal sistem uji praktikal sisten kelistrikan Bali 150 kV, 15-bus

Piranti kendali SVC yang digunakan dalam pengujian sistem tersebut, dimodelkan menggunakan *toolbox* analisis sistem tenaga (PSAT) [22]. Parameter PSO untuk semua kasus ini disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter PSO

| $c_1, c_2$ | $\omega_{max}$ | $\omega_{min}$ | Jumlah Iterasi | Jumlah Populasi |
|------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 2.0        | 0.9            | 0.4            | 50             | 50              |

Dalam penelitian ini, beban dimodelkan sebagai beban PQ konstan dengan faktor daya konstan dan beban dinaikkan menggunakan program PSO sesuai persamaan (10) dan (11). Setiap penambahan beban yang terjadi dalam penelitian ini diasumsikan ditanggung oleh generator *slack*.

Lokasi dan pengaturan (*setting*) kendali SVC ditetapkan sebagai variable keputusan, sementara semua bus beban dari sistem kelistrikan Bali 150 kV, 15-bus dipilih sebagai kandidat lokasi untuk penempatan SVC tersebut.

## 2.2. Hasil dan Analisis Hasil

### 2.2.1. Hasil Load Flow pada kondisi Basecase.

Hasil *load flow* pada kondisi *basecase* adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil *load flow* kondisi *basecase* Sistem kelistrikan Bali 150 kV, 15-bus

| <i>Bus</i> | $V_0$   | $\theta_0$ | $P_g$   | $Q_g$    | $P_L$ | $Q_L$ |
|------------|---------|------------|---------|----------|-------|-------|
| GLNUK      | 1.02    | 0          | -7.6832 | 5.2801   | 0.099 | 0.023 |
| BTRTI      | 0.99306 | 0.38733    | 0       | 0        | 0.09  | 0.011 |
| AMPRA      | 0.97782 | 0.44704    | 0       | 0        | 0.242 | 0.08  |
| ASARI      | 0.9727  | 0.33778    | 0       | 0        | 0.148 | 0.021 |
| KAPAL      | 0.981   | 0.43366    | 0       | 0        | 0.99  | 0.277 |
| GNYPAR     | 0.98194 | 0.454      | 0       | 0        | 0.585 | 0.229 |
| NSDUA      | 0.98727 | 0.47454    | 0       | 0        | 0.71  | 0.183 |
| BNDARA     | 0.98565 | 0.46761    | 0       | 0        | 0.279 | 0.054 |
| PKLOD      | 0.98678 | 0.46355    | 0       | 0        | 0.767 | 0.225 |
| PBIAN      | 0.98815 | 0.46805    | 0       | 0        | 0.651 | 0.236 |
| PMRON      | 1       | 0.37017    | 5.033   | -0.34598 | 0.451 | 0.086 |
| PNGAN      | 0.98273 | 0.40358    | 0       | 0        | 0.302 | 0.092 |
| NGARA      | 0.98154 | 0.1594     | 0       | 0        | 0.206 | 0.046 |
| PSGRN      | 1       | 0.5001     | 11.2001 | 0.90921  | 0.849 | 0.56  |
| SANUR      | 0.99073 | 0.48223    | 0       | 0        | 0.717 | 0.222 |

Dari hasil *load flow* pada kondisi *basecase* yang ditunjukkan pada Tabel 2. terlihat bahwa performansi sistem masih dalam keadaan normal, walaupun ada 2 (dua) bus yang mengalami tegangan di bawah 0.98 masing-masing yaitu bus AMPRA 0.97782 pu dan bus ASARI 0.9727 dengan total daya beban nyata dan reaktif masing-masing adalah 7.086 pu dan 2.345 pu sedangkan total rugi daya (*losses*) nyata dan raktif masing-masing adalah 1.4639 pu dan 3.4983 pu. Selanjutnya sistem tersebut sedang dievaluasi unjuk kerjanya pada penelitian selanjutnya setelah adanya integrasi pembangkit baru yaitu PLTU Celukan Bawang dengan kapasitas 1300 MW .

### 2.2.2. Hasil Load Flow setelah pemasangan SVC.

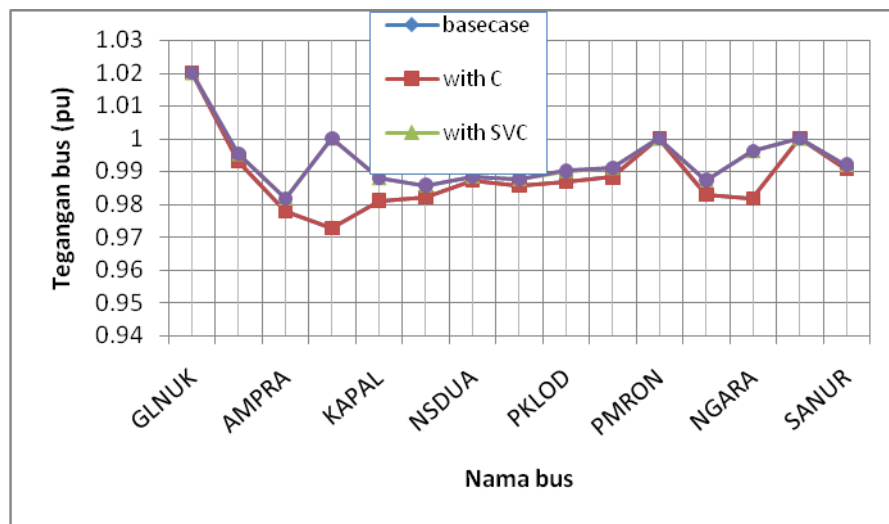
Hasil *load flow* setelah pemasangan SVC adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil *load flow* setelah pemasangan SVC pada Sistem kelistrikan Bali 150 kV, 15-bus

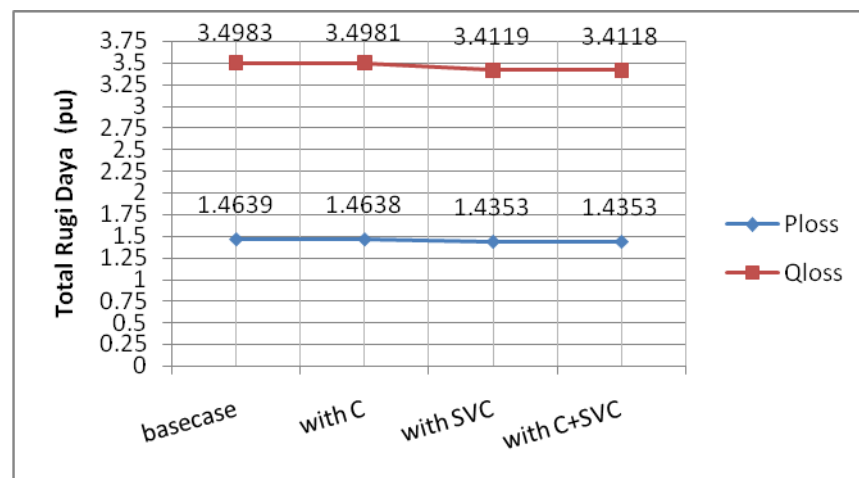
| <i>Bus</i> | $V_0$   | $\theta_0$ | $P_g$   | $Q_g$    | $P_L$ | $Q_L$   |
|------------|---------|------------|---------|----------|-------|---------|
| GLNUK      | 1.02    | 0          | -7.7118 | 4.8682   | 0.099 | 0.023   |
| BTRTI      | 0.99526 | 0.38183    | 0       | 0        | 0.09  | 0.011   |
| AMPRA      | 0.98173 | 0.43744    | 0       | 0        | 0.242 | 0.08    |
| ASARI      | 1       | 0.3226     | 0       | 1.3071   | 0.148 | 0.021   |
| KAPAL      | 0.98797 | 0.42314    | 0       | 0        | 0.99  | 0.27483 |
| GNYPAR     | 0.98582 | 0.44435    | 0       | 0        | 0.585 | 0.229   |
| NSDUA      | 0.98851 | 0.46578    | 0       | 0        | 0.71  | 0.18083 |
| BNDARA     | 0.98771 | 0.45858    | 0       | 0        | 0.279 | 0.054   |
| PKLOD      | 0.99013 | 0.45405    | 0       | 0        | 0.767 | 0.22282 |
| PBIAN      | 0.99114 | 0.45868    | 0       | 0        | 0.651 | 0.23382 |
| PMRON      | 1       | 0.36699    | 5.033   | -0.49652 | 0.451 | 0.086   |

| Bus   | $V_0$   | $\theta_0$ | $P_g$   | $Q_g$   | $P_L$ | $Q_L$   |
|-------|---------|------------|---------|---------|-------|---------|
| PNGAN | 0.98737 | 0.39569    | 0       | 0       | 0.302 | 0.092   |
| NGARA | 0.99622 | 0.15441    | 0       | 0       | 0.206 | 0.046   |
| PSGRN | 1       | 0.49177    | 11.2001 | 0.06482 | 0.849 | 0.55667 |
| SANUR | 0.99199 | 0.47337    | 0       | 0       | 0.717 | 0.22091 |

Tabel 3 menunjukkan performasi sistem setelah pemasangan SVC pada lokasi yang optimal yaitu pada bus ASARI sebesar 100 MVar terlihat bahwa profile tegangan meningkat, dimana 2 (dua) bus yang sebelumnya tegangannya di bawah 0.98 masing-masing yaitu bus AMPRA, semula tegangannya 0.97782 pu, setelah pemasangan SVC meningkat menjadi 0.98173 pu, begitu pula bus ASARI yang semula tegangannya 0.9727 pu, juga mengalami peningkatan menjadi 1 pu sehingga secara keseluruhan profile tegangan meningkat seperti ditunjukkan grafik pada Gambar 3. Sedangkan total rugi daya salural (*losses*) nyata dan reaktif sistem setelah pemasangan SVC tereduksi masing-masing menjadi 1.4353 yang sebelumnya adalah 1.4639 pu dan 3.4118 yang sebelumnya adalah 3.4983 pu seperti ditunjukkan Gambar 4.

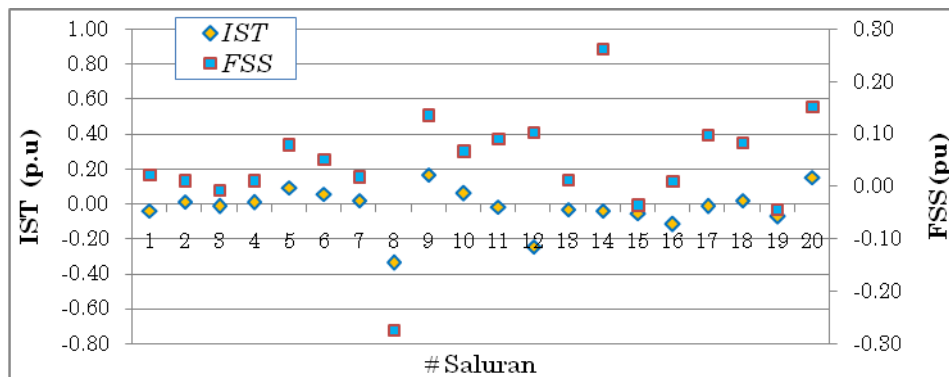


Gambar 3. *Profile* tegangan Sistem kelistrikan Bali 150 kV, 15-bus setelah setelah pemasangan SVC

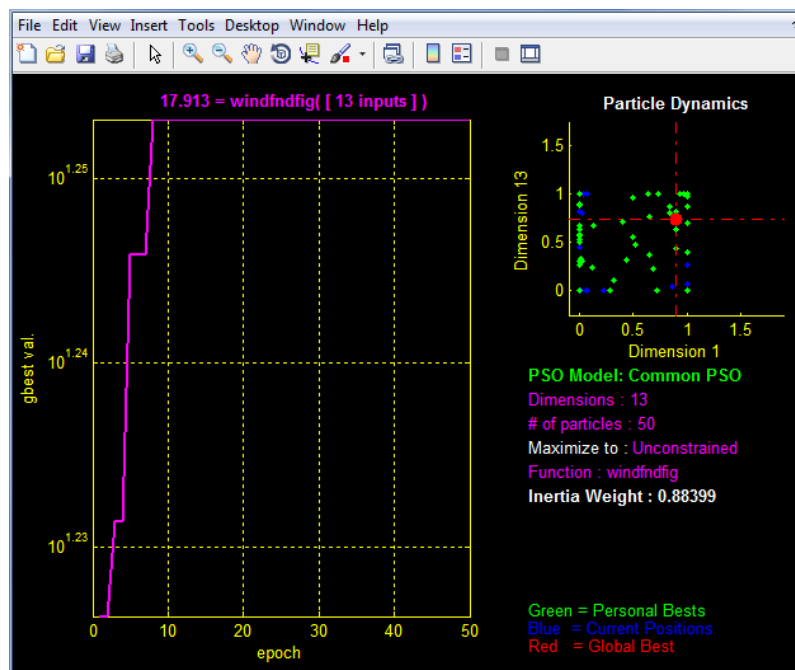


Gambar 4. Reduksi total rugi daya Sistem kelistrikan Bali 150 kV, 15-bus setelah pemasangan SVC

Sedangkan Gambar 5. menunjukkan stabilitas sistem yang direpresentasikan dengan nilai indeks IST dan faktor FSS kurang dari satu, pada sistem Kasus-2 dan *performance index evolution* PSO untuk kasus tersebut pada Sistem kelistrikan Bali 150 kV, 15-bus diberikan pada Gambar 6.



Gambar 5. Indeks *IST* dan faktor *FSS* untuk Kasus-2 pada Sistem kelistrikan Bali 150 kV, 15-bus



Gambar 6. *Performance index evolution* PSO untuk Kasus-2 pada Sistem kelistrikan Bali 150 kV, 15-bus

Hal inimenunjukkan bahwa penempatan dan *setting* optimal SVC pada grid yang telah terinterkoneksi pembangkit baru tersebut bukan saja mampu meningkatkan pembebanan sistem tetapi juga sekaligus meminimumkan rugi-rugi saluran transmisi dengan semua kendala keamanan dan stabilitas sistem masih terjamin pada batas marjin yang diijinkan.

### 3. Simpulan

Penelitian ini telah berhasil menerapkan salah satu teknik optimasi evolusi canggih yaitu *Particle Swarm Optimisation* (PSO) yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan optimasi multi-objective yaitu: meningkatkan pembebanan sistem akibat interkoneksi pembangkit baru ke dalam grid dan sekaligus mereduksi rugi-rugi daya aktif saluran transmisi. Penyelesaian masalah optimasi yang melibatkan persoalan bi-objective secara simultan tersebut dilakukan dengan penempatan optimal salah satu tipe piranti kendali FACTS yaitu SVC

pada lokasi terbaik dengan tetap menjamin keamanan dan stabilitas sistem yang dinyatakan sebagai indeks IST dan faktor FSS. Dari hasil simulasi yang dilakukan pada sistem practical yaitu sistem kelistrikan Bali 150 kV, 15-bus setelah pemasangan SVC pada bus ASARI sebesar 100 MVar menunjukkan bahwa profile tegangan meningkat setelah terinterkoneksi pembangkit listrik tenaga Batubara Celukan Bawang dengan kapasitas mampu total 380 MW sebaliknya total rugi saluran tereduksi mendekati 2 % dari kondisi basecase.

Disamping itu, algoritma yang dikembangkan menggunakan teknik PSO tersebut menunjukkan indeks unjuk kerja yang akurat dan cepat dalam mencapai konvergensi yang dalam penelitian ini baru digunakan untuk memecahkan persoalan optimasi bi-objective dari multi objective yang dapat dikembangkan yang memiliki fitur unggul yang mencakup solusi berkualitas tinggi, karakteristik konvergensi yang stabil dan efisiensi perhitungan yang baik.

### Ucapan TerimaKasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kkemenristek Dikti yang telah membantu pendanaan penelitian ini melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat ITN-Malang.

### DaftarPustaka

- [1] L. J. Cai and I. Erlich, Stamtsis, G., "Optimal choice and allocation of FACTS devices in deregulated electricity market using genetic algorithms," in *Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES*, 2004, pp. 201-207 vol.1.
- [2] Z. Lu and M. S. Li, Jiang, L., Wu, Q. H., "Optimal allocation of FACTS devices with multiple objectives achieved by bacterial swarming algorithm," in *Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE*, 2008, pp. 1-7.
- [3] I. M. Mataram, "Profil Sistem Kelistrikan Bali Pasca GI Pemecutan Kelod dan PLTU 780 MW Celukan Bawang Beroperasi " *Teknologi Elektro*, vol. 9, No. 1, pp. 31-36, 2010.
- [4] N. G. Hingorani, "Role of FACTS in a deregulated market," in *Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE*, 2000, pp. 1463-1467.
- [5] I. M. Wartana and N. P. Agustini, "Optimal Placement of UPFC for Maximizing System Loadability by Particle Swarm Optimization," presented at the Proceedings of The 12th International Conference on Quality in Research (QiR 2011), Bali-Indonesia, 2011.
- [6] H. I. Shaheen, G. I. Rashed, and S. J. Cheng, "Optimal Location and Parameters Setting of Unified Power Flow Controller Based on Evolutionary Optimization Techniques," in *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2007*, 2007, pp. 1-8.
- [7] M. Saravanan, S. M. R. Slochanal, P. Venkatesh, and J. P. S. Abraham, "Application of particle swarm optimization technique for optimal location of FACTS devices considering cost of installation and system loadability," *Electric Power Systems Research*, vol. 77, pp. 276-283, 2007.
- [8] P3B, "The 2015 Operation Plan," The Indonesian Government Electrical Company, PT PLN (PERSERO), Cinere 61514, Jakarta Selatan, Indonesia, 2015.
- [9] O. Alsac and B. Stott, "Optimal Load Flow with Steady-State Security," *Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on*, vol. PAS-93, pp. 745-751, 1974.
- [10] L. J. Cai, I. Erlich, and G. Stamtsis, "Optimal choice and allocation of FACTS devices in deregulated electricity market using genetic algorithms," in *IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*, 2004, pp. 201-207 vol.1.
- [11] Z. Lu, M. S. Li, L. Jiang, and Q. H. Wu, "Optimal allocation of FACTS devices with multiple objectives achieved by bacterial swarming algorithm," in *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century* 2008, pp. 1-7.
- [12] N. Hingorani and L. Gyugyi, *Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*, 1999.
- [13] F. Milano, "An Open Source Power System Analysis Toolbox," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 20, pp. 1199-1206, 2005.
- [14] I. Musirin and T. K. Abdul Rahman, "Novel fast voltage stability index (FVSI) for voltage stability analysis in power transmission system," in *Student Conference on Research and Development, SCOREd 2002*, 2002, pp. 265-268.
- [15] M. V. Suganyadevia and C. K. Babulal, "Estimating of loadability margin of a power system by comparing Voltage Stability Indices," in *2009 International Conference on Control, Automation, Communication and Energy Conservation, INCACEC 2009*, 2009, pp. 1-4.

- [16] S. Nagalakshmi and N. Kamaraj, "Loadability enhancement for pool model with FACTS devices in transmission system using Differential Evolution and Particle Swarm Optimization," in *Power Electronics (IICPE), 2010 India International Conference on*, 2011, pp. 1-8.
- [17] G. I. Rashed and H. I. Shaheen, Cheng, S. J., "Optimal Location and Parameter Settings of Multiple TCSCs for Increasing Power System Loadability Based on GA and PSO Techniques," in *Third International Conference on Natural Computation, ICNC 2007*, 2007, pp. 335-344, Vol. 4.
- [18] S. Gerbex and R. Cherkaoui, Germond, A. J., "Optimal location of multi-type FACTS devices in a power system by means of genetic algorithms," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 16, pp. 537-544, 2001.
- [19] I. M. Wartana and N. P. Agustini, "Optimal placement of UPFC for maximizing system loadability and minimizing active power losses in system stability margins by NSGA-II," in *Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 2011 International Conference on*, 2011, pp. 1-6.
- [20] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization " in *Proceedings, IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, WA , Australia 1995 pp. 1942 - 1948, Vol. 4
- [21] B. Birge, "PSOt - a particle swarm optimization toolbox for use with Matlab " in *Proceedings of the 2003 IEEE, Swarm Intelligence Symposium SIS '03*, 2003, pp. 182-186.
- [22] F. Milano, "An Open Source Power System Analysis Toolbox," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 20, pp. 1199-1206, 2005.